نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۵- شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱

ارزیابی تنوع ژنتیکی در هیبریدهای چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) از نظر عملکرد و صفات مورفو-فیزیولوژیک

Evaluation of genetic diversity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids in terms of yield and morpho-physiological traits

علی صارمی‌راد[1*]، فرحناز حمدی[2]، داریوش طالقانی[3]

۱. دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، کرج، ایران. ، (نگارنده مسئول)
۲. محقق مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند،سازمان تحقیقات،آموزش وترویج کشاورزی،کرج،ایران
۳. دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹ - شناسهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2023.357194.1580

چکیده

صارمی راد، ع.، حمدی، ف.، طالقانی. د.، . ارزیابی تنوع ژنتیکی در هیبریدهای چغندرقند (*Sugar beet* L.) از نظر عملکرد و صفات مورفو-فیزیولوژیک
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۵ - شماره ۳- پیاپند ۱۳۶ پائیز ۱۴۰۱ صفحه: ۸۷-۶۷

در برنامه‌های اصلاحی با اهداف بهبود محصول و افزایش بهره‌وری، شناخت تنوع ژنتیکی مرتبط با صفات مهم زراعی و نیز تعیین ارتباط میان آن‌ها حائز اهمیت ویژه‌ای است. در این رابطه تعداد ۱۵۵ هیبرید چغندرقند در قالب طرح آکمنت با پنج شاهد سینا، نوودورا، مودکس، لوریکت و پیرولا در پنج بلوک ناقص طی سال ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خوی کشت شدند. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی حاکی ازوجود تنوع ژنتیکی قابل توجه ی میان هیبریدهای آزمایشی از نظر صفات یکنواختی جوانه‌زنی، عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و عملکرد قند ناخالص بود. چهار صفت یکنواختی جوانه‌زنی، عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و درصد قند ناخالص توارث بالایی نشان دادند. در بین صفات تحت مطالعه عملکرد قند و عملکرد ریشه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱ درصد داشتند. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام مؤید آن بود که سه صفت عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و یکنواختی جوانه‌زنی بیش از ۹۹ درصد تغییرات عملکرد قند ناخالص را سبب می‌شوند. نتایج تجزیه علیت، نتایج تجزیه همبستگی و رگرسیون گام به گام را تأیید کرد و نشان داد که بیش‌ترین اثر مستقیم و مثبت مربوط به صفت عملکرد ریشه می‌باشد. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، هیبریدهای آزمایشی در چهار گروه متمایز طبقه‌بندی شدند؛ به‌طوری که در گروه اول هیبریدهایی قرار گرفتند که یکنواختی بالایی در جوانه‌زنی و عملکرد مناسبی از نظر ریشه و قند داشتند. نظر به تنوعی که میان صفات و هیبریدهای آزمایشی وجود داشت، لذا می‌توان هیبریدهای با صفات مطلوب بر اساس اهداف اصلاحی را گزینش و در برنامه‌های به‌نژادی آتی در راستای نیل به اهداف به کار برد.

واژه های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنوع فنوتیپی، رگرسیون، همبستگی.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Asaremirad@gmail.com

مقدمه

تنوع ژنتیکی، پایه‌ای برای بقای گیاهان در طبیعت و منبع اساسی تنوع زیستیاستکه مواد ژنتیکی دست نخورده را برای تکامل در نتیجه گزینش طبیعی(Hughes *et al.*, 2008) فراهم می‌کند. تنوع در ذخایر ژنتیکی گیاه، فرصتی را برای اصلاح‌کنندگان فراهم می‌کند تا ارقام جدید و اصلاح‌شده با ویژگی‌های مطلوب را توسعه دهند (Saremirad *et al.*, 2018) که هم صفات ترجیحی کشاورز و هم ویژگی‌های ترجیحی برای اصلاح‌کننده را شامل شود. وجود تنوع ژنتیکی به شکل گونه‌های وحشی، گونه‌های خویشاوند، ذخایراصلاحی، لاین‌های جهش یافته و غیره می‌تواند به‌عنوان منبع آلل‌های مطلوب باشد و ممکن است به اصلاح‌کنندگان گیاه در اصلاح ارقاممتناسب با شرایط حاکم کمک کن (Saremirad & Mostafavi, 2020) . اصلاح ارقام متناسب با شرایط، نیازمند ویژگی‌های جدیدی مانند تحمل در برابر آفات و بیماری‌های جدید بالقوه(Saremirad *et al.*, 2020) ، گرمای شدید، سرمای شدید و آلاینده‌های مختلف هوا و خاک (Kiani *et al.*, 2020) است. برای اهداف اصلاحی دائماً در حال تغییر،باید ژن‌های مختلف در گونه‌های زراعی در قالب منابع ژرم‌پلاسم ذخیره شوند. تنوع ژنتیکی در درون و بین گونه‌های گیاهی به اصلاح‌کنندگان این امکان را می‌دهد تا ژنوتیپ‌های برتر را برای استفاده مستقیم به‌عنوان رقم جدید یا به عنوان والد در برنامه دو رگ‌گیری انتخاب کنند. تنوع ژنتیکی بین دو والد برای درک هتروزیس و به دست آوردن تفکیک متجاوز ضروری است. به‌طور کلی تنوع ژنتیکی مسیر اصلاح‌کنندگان را برای ایجادارقامی با صفات خاص مانند بهبود کیفیت و تحمل در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی تسهیل می‌کند(Saremirad *et al.*, 2020; Saremirad *et al.*, 2021b; Saremirad *et al.*, 2018).

مطالعه تنوع فنوتیپی، به‌عنوان اولین گام پیش از انجام مطالعات بیوشیمیایی یا مولکولی عمیق، بسیار توصیه می‌شود (Hoogendijk & Williams, 2002). از این رو، توصیف مورفولوژیکی مهم‌ترین موضوع در فرآیندبررسی و نیز حفظ تنوع ژنتیکی گیاهی است Podgornik *et al.*, 2010). استفاده از صفات مختلف برای مطالعه تنوع فنوتیپی، ساختار ژنتیکی و میزان تنوع جمعیت مورد مطالعه را آشکار می‌کند که اساس اصلاح ژنتیکی را تشکیل می‌دهد (Saremirad *et al.*, 2021a). در واقع تصور می‌شود،واریانس فنوتیپی، نتیجه گزینش است که هم سازگاری با ویژگی‌های محیطی محلی و هم تنوع ژنتیکی(Liang *et al.*, 2015; Price *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2009)، مانند تغییرات اقلیمی، جهش صفت و رانش ژنتیکی را منعکس می‌کند(Huang *et al.*, 2014). مطالعات مرتبطی تأیید کرده‌اند که انعطاف‌پذیری فنوتیپی وسیله‌ای اصلی است که توسط آن گیاهان با تغییرپذیری عوامل محیطی کنار می‌آیند(Gratani, 2014). انعطاف‌پذیری فنوتیپی می‌تواند زمانی تکامل یابد که تنوع ژنتیکی کافیوجود داشته باشد (Via *et al.*, 1995; Via &Lande, 1987)، البته، فنوتیپ‌های گیاهی از ژنوتیپ، محیط وبرهمکنش بین ژنوتیپ و محیط

حاصل می‌شوند که منعکس‌کننده سازگاری ژنوتیپ با تغییرات محیطی است. فنوتیپ‌ها در نتیجه انتخاب تنش طولانی‌مدت شکل می‌گیرند و فرآیندهای برگشت‌ناپذیری را نشان می‌دهند که می‌توانند به‌طور پایدار توسط نتاج به ارث برسند. فنوتیپ‌ها منعکس‌کننده سازگاری محیطی گیاهان هستند و بنابراین تنوع فنوتیپی در سازگاری و طبقه‌بندی اهمیت زیادی دارد.

چغندرقند یکی از مهم‌ترین منابع تولید قند پس از نیشکر به شمار می‌رود(Monteiro *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2016). تولید سالیانه ریشه چغندرقند در حدود ۲۷۸ میلیون تن است(FAO, 2021) که تقریباً به‌طور انحصاری جهت استخراج قند مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریشه چغندر حاوی ۷۵ درصد آب، حدود ۲۰ درصد (یا ۱۸ درصد) قند (Dohm *et al.*, 2014) و پنج درصد تفاله(Anonymous, 1999) است. البته لازم به توضیح است که مقدار دقیق قند با توجه به رقم و شرایط رشد می‌تواند بین ۱۲ تا ۲۱ درصد متغیر باشد.در طول ۲۰۰ سال اصلاح چغندرقند، میزان قند از هشت درصد به ۱۸ درصد در ارقام امروزی افزایشیافته است(Dohm *et al.*, 2014). اصلاح ژنتیکی همچنین به‌طور فعال برای صفاتی مانند مقاومت در برابر بیماری‌های ویروسی و قارچی، بهبود عملکرد ریشه، منوژرمی بذر و مقاومت به ساقه‌روی (بولتینگ) به کار گفته شده است. پس از کشف نر عقیمی سیتوپلاسمی، اصلاح‌کنندگان شروع به توسعه ارقام هیبریدی نمودند و با موفقیت عملکرد را افزایش دادند(Biancardi *et al.*, 2010). تمامی این پیشرفت‌های اصلاحی که اشاره شد، در نتیجه تنوع ژنتیکی موجود در گونه‌های چغندرقند و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی حاصل شده است که به روشنی اهمیت تنوع ژنتیکی و لزوم ارزیابی‌های ژنتیکی برای شناسایی تنوع در این گیاه را نمایان می‌سازد.

در برنامه‌های به‌نژادی، گزینش بر اساس ویژگی‌های متعددی انجام می‌گردد که ممکن است در میان آن‌ها ارتباط مثبت یا منفی برقرار باشد؛ لذا روش‌های تجزیه و تحلیلیکه بدون از بین بردن مقدار زیادی از اطلاعات مفید، صفات مؤثر بر عملکرد را نمایان کند، دارای اهمیت بسزایی است. آماره‌های چندمتغیره برای تعیین ارتباط میان صفات مختلف استفاده می‌شود(Singh & Pawar, 2005). در مطالعه فتوحی و همکاران (Fotouhi *et al.*, 2017) به بررسی روابط میان صفات مختلف پرداخته شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده عملکرد خالص قندبا صفات عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و درصد استحصال شکر همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات سدیم، پتاسیم و درصد قند ملاس همبستگی منفی و معنی دار نشان داد. نتایج تجزیه علیت مؤید تأثیر مستقیم و قابل ملاحظه درصد قند ناخالص، میزان آب نسبی برگ و شاخص کلروفیل بر عملکرد قند خالص بود. موسوی و همکاران(Moosavi *et al.*, 2017) نشان دادند، عملکرد ریشه چغندرقند بالاترین همبستگی را با درصد ماده خشک ریشه داشت. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون و تجزیه علیت، وزن خشک دمبرگ و درصد ماده خشک ریشه بیشترین تغییرات عملکرد ریشه را تبیین کردند.

روش‌های چندمتغیره مبنای نظری بسیار

مناسبی برای ارائه معتبرترین اطلاعات در مورد فواصل ژنتیکی واقعی بین ژنوتیپ‌ها دارند، بنابراین می‌توان از آن‌ها برای ارزیابی تنوع ژنتیکی استفاده کرد. مطالعه حاضر نیز بررسی تنوع ژنتیکی در هیبریدهای چغندرقند و تعیین روابط صفات مختلف با استفاده از روش‌های چندمتغیره رامدنظر قرار داده است.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی

در پژوهش حاضر تعداد ۱۵۵ هیبرید چغندرقند مورد مطالعه قرار گرفت. هیبریدهای مذکور در نتیجه تلاقی میان ۱۵۵ لاین‌خالص گرده‌افشان چغندرقند به‌عنوان والد پدریبا سینگل کراس نرعقیم منوژرم تجاری SB36×۷۱۱۲ به‌عنوان والد مادری در سال ۱۳۹۸ تولید شدند و جمعیت آزمایشی را تشکیل دادند.

مکان اجرای آزمایش

ایستگاه تحقیقات کشاورزی خوی واقع در استان آذربایجان غربی به‌منظور مکان اجرای آزمایش در نظر گرفته شد. این منطقه ۱۱۳۶ مترازسطح دریا ارتفاع دارد وازنظرمختصات جغرافیایی در ۴۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. در طول اجرای آزمایش مجموع میزان بارندگی برابر با ۱۲۷ میلی‌متر و دمای حداقل و حداکثر به ترتیب برابر با ۴ و ۴۲ درجه سانتی‌گراد بود.

آماده‌سازی بستر کشت و اجرای طرح آزمایشی

هیبریدهای آزمایشی در قالب طرح مقایسه عملکرد مقدماتی (آگمنت) بر روی ردیف‌های به طول هشت متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در پنج بلوک ناقص به همراه یک رقم شاهد داخلی با نام سینا و چهار رقم شاهد خارجی با نام‌های نوودورا (Novodora)، مودکس (Modex)، لوریکت (Loriquet) و پیرولا (Pirola) طی هفته آخر اردیبهشت ۱۳۹۹ کشت شدند. در هر بلوک ناقص، کشت کلیه ارقام شاهد داخلی و خارجی یک‌بار تکرار شد. بر روی ردیف‌های کشت، تعداد بذر بیشتری قرار داده شد که پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی تنک گردیدند و به تراکم ۱۲۰۰۰۰ بوته در هکتار رسانده شدند. آبیاری به‌صورت نرمال و مطابق با نیاز گیاهان در فواصل مناسب انجام گردید. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و نازک‌برگ مزارع با وجین دستی و نیز طی چند مرحله با سموم علف‌کش انجام گرفت. در طول فصل رشد صفات یکنواختی جوانه‌زنی و یکنواختی رشد یادداشت شدند. یکنواختی در جوانه‌زنی بذور و میزان استقرار گیاهان پس از ظهور گیاهچه‌ها در مرحله چهار برگی برای تمامی ژنوتیپ‌ها به‌صورت امتیازدهی بر اساس مقیاس ۵ -۱ انجام شد.هیبرید/هایی که دارای یکنواختی کامل جوانه‌زنی بودند، امتیاز پنج و هیبرید/هایی که از یکنواختی جوانه‌زنی نامناسب و ضعیفی برخوردار بودند، امتیاز یک دریافت کردند. سایر هیبریدها نیز با توجه به میزان یکنواختی و استقرار، امتیازات مختلف ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴ و ۴/۵ را به خود اختصاص دادند. برای بررسی میزان یکنواختی رشد گیاهان مربوط به هر یک از هیبریدها نیز از مقیاس ۵ -۱ استفاده شد. به‌طوری‌که هیبریدها با

توجه به میزان یکنواختی رشد طیفی از امتیازات ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵ و ۵ را به خود اختصاص دادند، به‌نحوی‌که هیبرید/های دارای یکنواختی رشد حداکثری، امتیاز پنج گرفتند. در دهه اول آبان ماه سال ۱۳۹۹ عملیات برداشت آزمایش با شمارش و توزین ریشه‌های کرت‌های آزمایشی انجام شد. سپس ریشه‌ها برای شستشو و تهیه نمونه تصادفی خمیر با استفاده از دستگاه اتوماتیک ونما به آزمایشگاه تکنولوژی قند ایستگاه تحقیقات کشاورزی خوی انتقال یافتند. نمونه‌های خمیر تهیه شده در حالت انجماد به آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند منتقل شده و از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از خارج شدن نمونه‌ها از حالت انجماد، ۲۶ گرم از هر نمونه خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر سو استات سرب (lead (II) hydroxide acetate) به مدت سه دقیقه در داخل همزن مخلوط شده و محلولی به دست آمد. پس از گذراندن محلول از صافی، مایع شفافی حاصل شد که از آن در دستگاه بتالایزر (Betalyser، سیستم خودکار تجزیه کیفیت چغندرقند) برای اندازه‌گیری درصد قند ناخالص استفاده شد (Kunz *et al.*, 2002).به‌منظور برآورد عملکرد قند ناخالص، ابتدا عملکرد ریشه هر یک از هیبریدها به تن در هکتار تعمیم داده شد و با قرار دادن مقادیر درصد قند ناخالص و عملکرد ریشه در رابطه ۱، عملکرد قند ناخالص به دست آمد.

$$SY = (\frac{SC}{100}) \times RY$$ رابطه ۱:

در این رابطه SY عملکرد قند ناخالص بر حسب تن در هکتار، SC درصد عیار قند بر حسب گرم قند در ۱۰۰ گرم چغندرقند و RY عملکرد ریشه بر حسب تن در هکتار می‌باشد.

تجزیه آماری داده‌های آزمایشی

در ابتدا بر روی داده‌های به‌دست‌آمده برای ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی، با استفاده از نرم‌افزار R تجزیه واریانس انجام شد. با توجه به اجرای طرح آگمنت و نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه، مقدار هر صفت در هیبریدهای مورد مطالعه تصحیح گردید. از میانگین‌های تصحیح‌شده صفات برای انجام سایر تجزیه وتحلیل‌های آماری استفاده گردید.

محاسبه واریانس‌های فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات انجام شد. واریانس‌های فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی بر اساس روش کامستوک و رابینسون (Comstock &Robinson, 1952) به ترتیب با استفاده از روابط ۲، ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + MS_e$$ رابطه ۲:

$$\sigma_g^2 = \frac{MS_g - MS_e}{r}$$ رابطه ۳:

$$\sigma_e^2 = MS_e$$ رابطه ۴:

در این روابط MSg میانگین مربعات ژنوتیپ، MS_e میانگین مربعات خطا و r تعداد بلوک‌های آزمایشی است.

جهت برآورد ضریب تغییرات فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی از روش سینگ و چادری (Singh & Chaudhary, 1996) به ترتیب بر اساس روابط۵، ۶ و ۷ استفاده شد که در آن $\overline{xx}XX$

میانگین صفت می‌باشد.

رابطه ۵:
$$PCV(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{X}} \times 100$$

رابطه ۶:
$$GCV(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \times 100$$

رابطه ۷:
$$ECV(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{X}}$$

رابطه ۸:
$$h_b^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}$$

توراثت‌پذیری عمومی بر اساس روش فالکونر (Falconer, 1996) از طریق رابطه ۸ برآورد گردید.

در رابطه ۸، σ_g^2 واریانس ژنتیکی و σ_p^2 واریانس فنوتیپی به‌دست‌آمده از جدول تجزیه واریانس بر طبق روش کامستوک و رابینسون (Comstock & Robinson, 1952) است.

پیشرفت ژنتیکی با استفاده از رابطه۹ محاسبه شد.

رابطه ۹:
$$GA = k \times \sigma_p \times h_b^2$$

در این رابطه (رابطه ۹)k شدت گزینش ۱۰ درصد برابر ۱/۷۵۵، σ_p انحراف معیار فنوتیپی و h_b^2 وراثت‌پذیری عمومی می‌باشد (Allard, 1960; Singh& Chaudhary, 1996).

پس محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون (Pearson) میان صفات تحت مطالعه، تجزیه رگرسیونی گام به گام به روش گزینش صعودی (Forward) برای ویژگی عملکرد قند ناخالص انجام شد؛ سپس نظر به صفات واردشده در معادله رگرسیونی، تجزیه علیت (مسیر) برای عملکرد قند ناخالص صورت پذیرفت. گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی بر اساس روش وارد (Ward) و تعیین تعداد بهینه خوشه نیز بر اساس میانگین‌های k انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار R صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی شامل یکنواختی جوانه‌زنی، یکنواختی رشد، عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و عملکرد قند ناخالص در جدول ۱ ارائه شده است. اثر بلوک تصحیح شده برای یکنواختی جوانه‌زنی و عملکردقند ناخالص غیر معنی‌دار و برای صفات یکنواختی رشد، عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص معنی‌دار، در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) برآورد شد. معنی‌داری اثر بلوک تصحیح‌شده برای صفات مذکور نشان می‌دهد که بلوک‌های ناقص از نظر شرایط قابل کنترل و یا غیرقابل کنترل محیطی ناهمگن می‌باشند. اثر تیمار تصحیح‌شده برای کلیه صفات مورد بررسی به‌جز یکنواختی رشد در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار شد. با تفکیک اثر تیمار به اثرات هیبرید و شاهد ملاحظه شد که هر دو این اثرات نیز برای کلیه صفات مورد بررسی به‌جز یکنواختی رشد، در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار می‌باشند؛ بنابراین تنوع ژنتیکی مشاهده شده در تیمار تصحیح شده ناشی از تنوع ژنتیکی در داخل هر دو منبع هیبرید و شاهد است. وجود تنوع

در میان هیبریدها این فرصت را ایجاد می‌کند تا از طریق گزینش نسبت به بهبود ویژگی‌های مدنظر گام برداشت. البته تأثیر محیط بر تنوع نباید نادیده گرفته شود و لازم است تا مورد بررسی قرار گیرد. با بررسی اثر هیبرید در برابر شاهد مشخص شد که میان هیبریدهای آزمایشی با شاهدهای به‌کاررفته در آزمایش، تنها از نظر درصد قند ناخالص تفاوت قابل ملاحظه‌ای در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) وجود دارد و از لحاظ سایر صفات بین آن‌ها تفاوتی نیست.

در جدول شماره ۲ مقادیرمربوط به میانگین، ضریب تغییرات فنوتیپی، انحراف معیار، حداکثر و حداقل برای صفات مورد مطالعه در ۱۵۵ هیبرید چغندرقند و نیز میانگین هر یک از صفات در ارقام شاهد آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، تنوع نسبی میان همه هیبریدهادر همه صفات مورد بررسی ملاحظه شد که در این میان عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص به ترتیب با ۰/۲۴ و ۰/۲۴ بیش‌ترین تنوع را با میانگین ۶۹/۲۹و ۱۱/۸۶ تن در هکتار و دامنه تغییرات ۹۹/۲۷ و ۱۶/۷۳ تن در هکتار داشت. کم‌ترین تنوع در بین صفات ارزیابی شده در هیبریدهای آزمایشی مربوط به درصد قند ناخالص ویکنواختی رشد به ترتیب با ضریب تنوع ۰/۰۸ و ۰/۰۹ بود. تنوعی که هیبریدها نشان دادند، مربوط به تنوع میان ژن‌های موجود در والد پدری است، زیرا هیبریدهای اصلاحی دارای والد مادری مشترک بودند و تنها والد پدری آن‌ها متفاوت بود. نتایج نشان داد که میانگین صفات یکنواختی رشد، عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص در هیبریدهای اصلاحی نسبت به شاهدهای سینا، مودکس و پیرولا بیشتر و نسبت به شاهدهای نوودورا و لوریکت کمتر است. این موضوع حاکی از وجود هیبریدهایی است که از نظر صفات نامبرده نسبت به ارقام شاهد برتری دارند.برتری هیبریدها نسبت به شاهدهای سینا و پیرولا و برابری با شاهدهای نوودورا و لوریکت از نظر یکنواختی رشد نیز مشاهده شد. هیبریدهای اصلاحی از نقطه‌نظر درصد قند ناخالص بر هیچ‌یک از شاهدها ارجحیت نداشته و فقط میانگین این صفت با شاهد پیرولا برابر برآورد گردید. بر اساس نتایج می‌توان هیبریدهای با عملکرد کمی و کیفی برتر نسبت به شاهدها را شناسایی و پس از انجام آزمایش‌های تکمیلی، به‌عنوان رقم معرفی کرد. سایر هیبریدها را نیز می‌توان در قالب طرح‌های تکرار دار، در چند منطقه مورد ارزیابی تکمیلی قرار داد، سپس بهترین‌های آن‌ها به‌عنوان رقم معرفی گردند. از طرف دیگر، لاین‌های گرده‌افشان تعدادی از هیبریدهای برتر را می‌توانبا توجه به پیش‌زمینه ژنتیکی آن‌ها مجدداً انتخاب و جهت بهبود و ارتقاء صفات کمی و کیفی، وارد چرخه‌های اصلاحی تکمیلی نمود و از آن‌ها لاین‌های اینبرد جدید تهیه کرد.

پارامترهای ژنتیکی اعم از اجزای واریانس و ضرایب تغییرات فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی برای صفات مورد بررسی در جدول ۳آورده شد. واریانس فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی به ترتیب بین ۰/۱۷ تا ۳۱۳/۳۶، ۰/۰۸ تا ۲۵۲/۰۷ و ۰/۰۹ تا ۶۱/۲۹ برای صفات مختلف تحت مطالعه متغیر بود. بخش بزرگی از واریانس فنوتیپی صفات یکنواختی جوانه‌زنی،عملکرد ریشه و عملکرد

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف مورد مطالعه در هیبریدهای چغندرقند

Table 1. Analysis of variance of different studied traits in sugar beet hybrids

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	یکنواختی جوانه زنی Germination uniformity	یکنواختی رشد Growth uniformity	عملکرد ریشه Root yield	درصد قند ناخالص Sugar content	عملکردقند ناخالص Sugar yield
بلوک Block (adj)	4	0.06^{ns}	0.64**	189.49*	7.00**	3.17^{ns}
تیمار Treatment (adj)	159	0.62**	0.10^{ns}	289.81**	1.80**	8.47**
هیبرید Hybrid	154	0.64**	0.17^{ns}	313.36**	1.63*	8.60**
شاهد Check	4	1.96**	0.14^{ns}	1298.61**	7.98**	45.56**
هیبرید در برابر شاهد Hybrid vs. Check	1	0.06^{ns}	0.03^{ns}	69.77^{ns}	24.53**	3.99^{ns}
خطا Error	16	0.09	0.09	61.29	0.63	2.63
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.68	6.26	11.34	4.58	13.59

*، ** و ns: معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار.

ns, *,and **: non-significant,significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۲- نتایج برخی از آماره‌های توصیفی صفات مختلف مورد مطالعه در هیبریدهای چغندرقند

Table 2. Results of some descriptive statistics of different studied traits in sugar beet hybrids

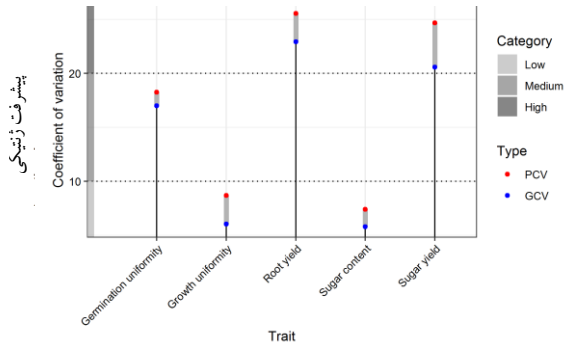
صفت Trait	میانگین Mean	ضریب تغییرات CV	انحراف معیار SD	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین شاهد Control means				
						سینا Sina	نوودورا Novodora	مودکس Modex	لوریکت Loriquet	پیرولا Pirola
یکنواختی جوانه زنی (امتیاز) Germination uniformity (score)	4.37	0.18	0.80	5	0.92	4.00	5.00	3.80	5.00	3.80
یکنواختی رشد (امتیاز) Growth uniformity (score)	4.80	0.09	0.43	5	3.15	4.60	4.80	5.00	4.80	4.60
عملکرد ریشه (تن در هکتار) Root yield (t.ha^{-1})	69.29	0.24	16.81	108.70	9.43	59.98	82.31	51.27	87.11	56.78
قند ناخالص (درصد) Sugar content (percent)	17.21	0.08	1.39	20.76	11.92	17.35	19.38	19.91	17.57	17.21
عملکردقند ناخالص (تن در هکتار) Sugar yield (t.ha^{-1})	11.86	0.24	2.90	18.39	1.66	10.38	15.89	10.19	15.27	9.74

CV: Coefficient of variation, SD: Standard deviation

قندناخالص به‌وسیله واریانسژنتیکی تبیین شد، بنابراین ژنوتیپ می‌تواند توسط فنوتیپ و بازده ژنتیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد فنوتیپی این صفات منعکس شود. ضریب تنوع فنوتیپی در بازه بین ۷/۴۱ درصد برای درصد قند ناخالص تا ۲۵/۵۷ درصد برای عملکرد ریشه، ضریب تنوع ژنتیکی نیز بین ۵/۸۰ درصد برای درصد قند ناخالصتا ۲۲/۹۳ درصد برای عملکرد ریشه و ضریب تنوع محیطی بین ۶/۲۵ درصد برای یکنواختی رشد تا ۱۳/۶۴ درصد برای عملکردقند ناخالص به دست آمد. ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنتیکی بر اساس مقادیر مشخص‌شده مشابه‌ی طبقه‌بندی می‌شوند، با توجه به این مقادیر تعیین‌شده،درصورتی‌که برای میزان تنوع فنوتیپی و همچنین تنوع ژنتیکی صفتی، ضرایب بیش از ۲۰ درصد برآورد شود، نشان‌دهنده ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی بالا، درصورتی‌که در دامنه بین ۱۰ تا ۲۰ درصد برآورد شود، نشان‌دهنده ضرایب فنوتیپی و ژنتیکی متوسط و درصورتی‌که کمتر

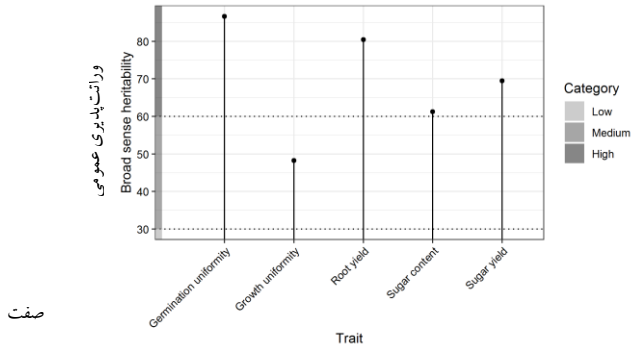
از ۱۰ درصد محاسبه گردد، بیانگر ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی پایین است. بر اساس این طبقه‌بندی بالاترین ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی به دوصفت عملکرد ریشه (به ترتیب ۲۵/۵۷ و ۲۲/۹۳ درصد) و عملکرد قند (به ترتیب ۲۴/۶۹ و ۲۰/۵۸ درصد) اختصاص یافت (شکل ۱). صفت یکنواختی جوانه‌زنی از مقادیر ضرایب تنوع فنوتیپی (۱۸/۲۷ درصد) و ژنتیکی (۱۷/۰۱ درصد) متوسط و صفات یکنواختی رشدو درصد قند ناخالص از مقادیر ضرایب تنوع فنوتیپی (به ترتیب ۸/۶۹ و ۷/۴۱ درصد) و ژنتیکی (به ترتیب ۶/۰۴ و ۵/۸۰ درصد) پایین برخوردار بودند (شکل ۱). مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنتیکی برای تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز یکنواختی رشد به یکدیگر نزدیک بودند. این موضوع بیانگر تأثیر بالای ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها است. هر یک از ضرایب تنوع فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی اطلاعات سودمندی در رابطه با ژنتیکی یا محیطی بودن تنوع مشاهده‌شده در صفات را در اختیار قرار می‌دهد. همان‌طور که در نتایج (جدول ۳) مشهود است در تمام صفات مورد مطالعه ضریب تنوع فنوتیپی بیشتر از ضریب تنوع ژنتیکی می‌باشد. این امر ناشی از تأثیر عوامل محیطی بر این صفات است. با توجه به اینکه واریانس فنوتیپی از مجموع واریانس ژنتیکی و محیطی حاصل شده است، لذا اگر واریانس ژنتیکی ثابت فرض شود، آنچه باعث می‌گردد یک صفت در تنوع فنوتیپی و ژنتیکی متفاوت باشد، واریانس محیطی خواهد بود؛ به بیان بهتر درصورتی‌که صفتی تنوع فنوتیپی بالا و تنوع ژنتیکی پایین داشته باشد، این امر نشان‌دهنده اثر محیط است.این موضوع در نتایج صفت یکنواختی رشد قابل تأمل است. آنچه می‌توان در خصوص یکنواختی رشد استنباط نمود، آن است که شرایط محیطی اعم از قابل کنترل و غیر قابل کنترل تأثیر بیشتری در مقایسه با ساختار ژنتیکی بر این صفت دارد. هر اندازه که نسبت تنوع ژنتیکی به محیطی بیشتر باشد، کارایی گزینش افزایش خواهد یافت و شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب از نامطلوب به شکل صحیح‌تری انجام خواهد شد. نسبت بالای تنوع ژنتیکی به محیطی به ترتیب در صفات یکنواختی جوانه‌زنی، عملکرد ریشه و عملکردقند ناخالص مشاهده شد. مقادیر واریانس ژنتیکی و محیطی محاسبه‌شده برای صفت درصد قند ناخالص بسیار به یکدیگر نزدیک بودند. در خصوص میزان تأثیر ژنتیک و محیط در کنترل این صفت به بررسی‌های بیشتری نیاز است؛ اما آنچه مسلم است، کنترل درصد قند ناخالص توسط تعداد زیادی ژن کوچک اثر است؛ در نتیجه اثرات محیطی قسمت اعظم تنوع فنوتیپی این صفت را توجیه می‌کند؛ بنابراین انتخاب ژنوتیپ برتر فقط بر اساس درصد قند ناخالص نمی‌تواند چندان مؤثر باشد.

همان‌طور که پیش از این بیان شد، مقادیر ضریب تنوع ژنتیکی میزان تنوع میان ژنوتیپ‌ها را به نمایش می‌گذارد و قادر به مشخص نمودن میزان به ارث رسیدن این تنوع نیست. این شاخص به همراه وراثت‌پذیری، تخمین مناسبی از پیشرفت ژنتیکی در گزینش فنوتیپی را فراهم می‌آورد (Burton & Devane, 1953).



شکل ۱- ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی صفات مختلف مورد مطالعه در هیبریدهای چغندرقند

Figure 1. Phenotypic and genetic coefficients of variation of different studied traits in sugar beet hybrids



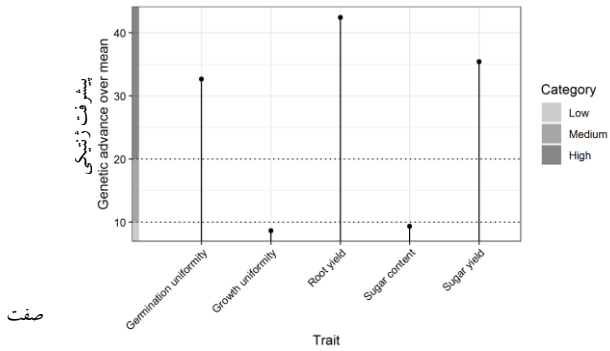
شکل ۲- مقادیر توارث‌پذیری عمومی صفات مختلف مورد مطالعه در هیبریدهای چغندرقند

Figure 2.Broad sense heritability values of different studied traits in sugar beet hybrids

درصورتی‌که وراثت‌پذیری صفتی کمتر از ۳۰ درصد باشد،

نشان‌دهنده توارث پایین، اگر بین ۳۰ تا ۶۰ درصد باشد، دارای توارث متوسط و اگر بیش از ۶۰ درصد باشد، از توارث‌پذیری بالایی برخوردار است. با توجه به این گروه‌بندی چهار صفت یکنواختی جوانه‌زنی، عملکرد ریشه، عملکردقند ناخالص و درصد قند ناخالص توارث بالایی داشتند (شکل ۲).

توارث‌پذیری بالا برای یک صفت الزاماً مؤید پیشرفت ژنتیکی بالا نخواهد بود. به‌کارگیری هم‌زمان دو پارامتر بسیار مهم توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی، نقش حائز اهمیتی در تهیه ارقام و ژنوتیپ‌ها ایفا می‌نماید. میزان بالای پیشرفت ژنتیکی نشان‌دهنده عمل افزایشی ژن و پایین بودن آن بیانگر عمل غیر افزایشی ژن است.اگر وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالا با یکدیگر همراه شوند، مبین اثرات افزایشی ژن‌ها خواهد بود؛ اما اگر وراثت‌پذیری بالا با پیشرفت ژنتیکی پایین همراه شود، نشان‌دهنده اثرات غالبیت خواهد بود (Johnson *et al.*, 1955). پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار در شدت انتخاب ۱۰ درصد به‌صورت درصدی از میانگین برآورد شد. صفاتی که پیشرفت ژنتیکی بیش از ۲۰ درصد داشتند، به‌عنوان صفات با پیشرفت ژنتیکی بالا، صفاتی که پیشرفت ژنتیکی بین ۱۰



شکل ۳- ضرایب پیشرفت ژنتیکی صفات مختلف مورد مطالعه در هیبریدهای چغندرقند

Figure 3.Coefficients for genetic advance of different studied traits in sugar beet hybrids

جدول ۳- میانگین، اجزای واریانس فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی صفات مختلف مورد مطالعه درهیبریدهای چغندرقند

Table 3. Mean, components of phenotypic, genetic and environmental variance of different studied traits in sugar beet hybrids

صفت Trait	واریانس فنوتیپی PV	واریانس ژنتیکی GV	واریانس محیطی EV	ضریب تنوع فنوتیپی PCV	ضریب تنوع ژنتیکی GCV	ضریب تنوع محیطی ECV	نسبت ضریب تنوع ژنتیکی به محیطی GCV/ECV
یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	0.64	0.55	0.09	18.27	17.01	6.67	2.55
یکنواختی رشد Growth uniformity	0.17	0.08	0.09	8.69	6.04	6.25	0.97
عملکرد ریشه Root yield	313.36	252.07	61.29	25.57	22.93	11.31	2.03
درصد قند ناخالص Sugar content	1.63	1.00	0.63	7.41	5.80	4.61	1.26
عملکرد قند ناخالص Sugar yield	8.60	5.98	2.63	24.69	20.58	13.64	1.51

PV: Phenotypic variation, GV: Genotypic variation, EV: Environmental variation, PCV: Phenotypic coefficient of variation, GCV: Genotypic coefficient of variation, ECV: Environmental coefficient of variation.

تا ۲۰ درصد داشتند، به‌عنوان صفات با پیشرفت ژنتیکی متوسط و صفاتی که پیشرفت ژنتیکی کمتر از ۱۰ درصد داشتند، به‌عنوان صفات با پیشرفت ژنتیکی پایین شناخته شدند. با توجه به نحوه گروه‌بندی بر اساس مقادیر پیشرفت ژنتیکی، صفات مورد بررسی به دو گروه صفات با پیشرفت ژنتیکی بالا و پایین تقسیم شدند. سه صفت عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و یکنواختی جوانه‌زنی به ترتیب با ۴۲/۴۳، ۳۵/۳۹ و ۳۲/۶۷ درصد، از پیشرفت ژنتیکی بالا و صفات درصد قند ناخالص و یکنواختی رشد به ترتیب با ۹/۳۶ و ۸/۶۶ درصد، از پیشرفت ژنتیکی پایین برخوردار بودند (شکل ۳). وراثت‌پذیری بالا همراه با پیشرفت ژنتیکی مطلوب برای صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند و یکنواختی جوانه‌زنی مشاهده گردید که نشان‌دهنده اثرات افزایشی ژن‌ها است.

ضریب همبستگی جهت تعیین میزان ارتباط بین صفات مختلف ارزیابی‌شده به کار برده شد. مقادیر این ضریب بین ۱ تا ۱-متغیر است.

در صورتی که مقدار ضریب همبستگی بین دو صفت معادل ۱ برآورد شود، بیانگر رابطه مستقیم کامل بین آن‌هامی‌باشد، رابطه مستقیم یا مثبت به این معناست که اگر یکی از صفات افزایش یا کاهش یابد، دیگری نیز به تبعیت از آن افزایش یا کاهش می‌یابد. هرچه این ضریب به‌طرف صفر میل کند، رابطه مستقیم کاهش یافته به‌نحوی‌که در ضریب همبستگی برابر صفر هیچ‌گونه رابطه خطی بین دو صفت بر قرار نیست. هر اندازه که ضریب از صفر به سمت ۱- میل کند، رابطه معکوس بین دو صفت افزایش یافته به‌طوری‌که در ضریب همبستگی ۱- ارتباط معکوس کامل بین دو صفت حکم‌فرما می‌شود. رابطه معکوس کامل نشان می‌دهد که اگر یک صفت افزایش یابد، متغیر دیگر با کاهش مواجه می‌شود و بالعکس. ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون صفات مختلف مورد مطالعه ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی در شکل ۴ آورده شده است. بالاترین همبستگی مثبت میان عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص به میزان ۰/۹۵ در سطح احتمال ۰/۱ درصد به دست آمد. این میزان همبستگی بالا بین دو صفت نامبرده مبین آن است که با افزایش میزان عملکرد ریشه به موازات آن عملکردقند ناخالص نیز افزایش یافته است. به دنبال آن صفات عملکرد ریشه با یکنواختی جوانه‌زنی (r=۰/۸۵) و عملکرد قند با یکنواختی جوانه‌زنی (r=۰/۸۲) بیشترین میزان همبستگی مثبت را در سطح احتمال ۰/۱ درصد به خود اختصاص دادند. یکنواختی در جوانه‌زنی، استقرارو توسعه سریع گیاهچه‌ها منجر می‌شود تا گیاهان پرتوهای نوری بیشتری را برای فتوسنتز دریافت کرده که در نتیجه افزایش در عملکرد محصول را سبب می‌شود(Sun *et al.*, 1999; Thomas *et al.*, 2003; Yin *et al.*, 2003). یکنواختی رشد با صفات درصد قند ناخالص(r=۰/۳۷) و عملکرد ریشه (r=۰/۲۳) همبستگی مثبت ضعیفی به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۰/۱ داشت. همبستگی عملکرد قند ناخالص با درصد قند ناخالص، یکنواختی رشد با یکنواختی جوانه‌زنی و یکنواختی رشد با عملکرد ریشه مثبت اما غیر معنی‌دار برآورد گردید. بالاترین همبستگی منفی معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بین درصد قند ناخالص و عملکرد ریشه (r=۰/۱۸) مشاهده شد که نشان می‌دهد با افزایش میزان عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص با کاهش مواجه شده است.ارتباط مشابهی بین عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص نیز پیش از این گزارش شده است (Nasri *et al.*, 2012) یکنواختی جوانه‌زنی و درصد قند ناخالص همبستگی منفی غیر معنی‌داری داشتند.

تعیین همبستگی بین صفات مختلف به‌ویژه عملکرد قند و اجزاء آن و تعیین روابط علت و معلولی آن‌ها، برای به‌نژادگران این فرصت را فراهم می‌آورد تا مناسب‌ترین ترکیب اجزاء که منتج به عملکرد قند بیشتر می‌شود را انتخاب نمایند. در این نوع مطالعات انتخاب بر اساس همبستگی‌های ساده به‌تنهایی نمی‌تواند نتایج کاملاً مطلوبی داشته باشد. زیرا آن‌ها اطلاعات ناقصی از اهمیت نسبی اثرات مستقیم و غیرمستقیم عامل‌های فردی درگیر را فراهم می‌کنند؛ بنابراین ضروری است که اثر مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر عملکرد قند تعیین

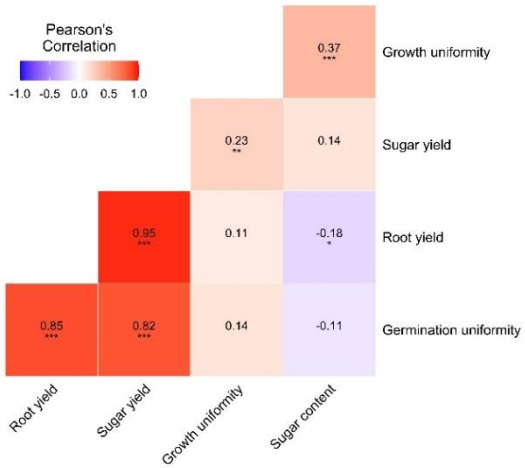
جدول ۴- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام در هیبریدهای چغندرقند

Table 4. Results of stepwise regression analysis in sugar beet hybrids

گام Step	صفات واردشده به مدل Traits entered into model	ضریب رگرسیون استاندارد بتا Beta standard regression coefficient	خطای استاندارد Standard error	مقدار t t-value	ضریب تبیین تصحیح شده جزئی Partial adjusted correlation coefficient	ضریب تبیین تصحیح شده تجمعی Cumulative adjusted correlation coefficient
1	عملکرد ریشه Root yield	0.975	0.002	80.154**	0.894	0.894
2	درصد قندناخالص Sugar content	0.318	0.013	49.135**	0.099	0.993
3	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	0.032	0.044	2.668*	0.001	0.994

*، ** و ns: معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار.

ns,*,**: non-significant,significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۴- ضرایب همبستگی پیرسون صفات مختلف مورد مطالعه هیبریدهای چغندرقند.

(*، ** و ***: معنی دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد)

Figure 4. Pearson correlation coefficients of different traits studied in sugar beet hybrids.

(*, ** and ***: significant at the probability levels of 5, 1 and 0.1%)

گردد. در این راستا رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند.

جهت بررسی تأثیر هر یک از صفات مورد مطالعه بر متغیر وابسته و نیز کاهش تعداد متغیرهای مستقل و تعمیم مناسب‌ترین مدل رگرسیونی، از رگرسیون گام به گام به روش گزینش صعودی بهره برده شد. در تجزیه رگرسیونی گام به گام عملکرد قند ناخالص به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات مورد ارزیابی به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. طبق نتایج حاصل از صفات ارزیابی‌شده (جدول ۴)، سه صفت وارد مدل رگرسیونی شدند که به ترتیب عبارت از عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و یکنواختی جوانه‌زنی بودند. هر سه این صفات واردشده به مدل رگرسیون بیش از ۹۹ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد قند ناخالص را تبیین نمودند. با توجه به نتایج، صفت عملکرد ریشه اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد و به‌تنهایی بیش از ۸۹ درصد از تغییرات عملکرد قند را توجیه نمود، سپس درصد قند ناخالص و یکنواختی جوانه‌زنی به ترتیب دومین و سومین صفتی بودند که وارد مدل رگرسیونی گردیدند و به ترتیب ۹/۹ و ۰/۱ درصد از تغییرات مربوط

به عملکرد قند را تبیین کردند.

به‌منظور تفسیر جامع و کامل‌تری از همبستگی‌های ساده و رگرسیون گام به گام و همچنین درک بهتر روابط علت و معلولی برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات از تجزیه علیت استفاده شد. تجزیه علیت بر روی صفات واردشده به مدل رگرسیونی صورت پذیرفت و نتایج حاصل از آن در جدول ۵ آورده شد. در این تجزیه عملکرد قند ناخالص به‌عنوان متغیر وابسته در برابر سایر صفات واردشده به مدل به‌عنوان متغیرهای مستقل، به‌منظور تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر یک از این متغیرها با متغیر وابسته قرار داده شد. طبق نتایج حاصل از تجزیه علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی، صفت عملکرد ریشه (۱/۰۱۱) بیش‌ترین اثر مستقیم مثبت و فزاینده را بر عملکرد قند داشت. بر اساس تجزیه رگرسیون گام به گام نیز عملکرد ریشه اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد. صفت درصد قند ناخالص(۰/۳۲۱) دارای اثر مستقیم مثبت بعد از صفت عملکرد ریشه بود که منطبق با نتایج حاصل از رگرسیون گام به گام است. یکنواختی جوانه‌زنی اثر مستقیم منفی (۰/۰۰۴-) بسیار جزئی بر روی عملکردقند ناخالص داشت. بر اساس نتایج، اثرات مستقیم با افزایش در میزان عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص، میزان عملکرد قند را افزایش خواهند داد، اما با افزایش یکنواختی در جوانه‌زنی به میزان بسیار جزئی عملکرد قند کاهش می‌یابد. علت کاهش عملکرد قند در نتیجه افزایش یکنواختی جوانه‌زنی به‌احتمال قوی مربوط به میزان تراکم بالای بوته در واحد سطح است که موجب کمبود مواد مغذی موردنیاز برای افزایش عملکرد قند ریشه‌ها می‌شود. صفت یکنواختی جوانه‌زنی از طریق صفت عملکرد ریشه بالاترین تأثیر غیرمستقیم و مثبت را بر عملکرد قند ناخالص داشت، لذا بهبود جوانه‌زنی باعث بهبود عملکرد ریشه و بالطبع آن افزایش عملکرد قند می‌شود. صفت درصد قند ناخالصاز طریق عملکرد ریشه دارای بالاترین اثر غیرمستقیم منفی بود. این نتیجه نشان می‌دهد که با افزایش عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص کاهش یافته است. هر دو صفت عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص، اجزای اصلی عملکرد قند محسوب می‌شوند، در نتیجه به‌منظور داشتن عملکرد قند ایده‌آل و بسیار خوب، باید هر دو ویژگی نامبرده در هیبریدها افزایش یابد، اما این برهمکنش منفی میان آن‌ها سبب شده است تا چنین نگردد. این موضوع تقابل دو صفت یاد شده مبین یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که اصلاح‌کنندگان چغندرقند با آن روبرو هستند و باید در صدد رفع آن اقداماتی را انجام دهند.

در جدول ۶ نتایج تجزیه به عامل‌ها ارائه شده است. واریانس هر عامل بر حسب درصد که نشان‌دهنده اهمیت آن در تفسیر تغییرات کلی داده‌ها است، بیان شد. در این تجزیه دو عامل مستقل از هم در مجموع حدود ۸۴ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. عامل اول ۵۵/۷۴ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین نمود و دارای مقدار ویژه برابر با ۲/۷۸۷ بود. این عامل شامل ضرایب عاملی مثبت و بالا برای یکنواختی جوانه‌زنی، عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص بود؛ بنابراین عامل مذکور عامل

عملکرد نامیده شد. عامل دوم با ریشه مشخصه ۱/۳۹۹ و توجیه۲۷/۹۹ درصد از واریانس تغییرات، شامل ضرایب عاملی بالا برای صفات یکنواختی رشد و درصد قند ناخالص بود و عامل ناخالصی نام‌گذاری شد. با در نظر گرفتن درصد واریانس توجیه شده توسط عامل‌ها در ژنوتیپ‌های چغندرقند، چنین برداشت می‌شود که با تقویت صفات درونی عامل اول، عملکرد قند در واحد سطح را می‌توان بهبود بخشید.

تجزیه خوشه‌ای به روش وارد بر روی صفات مورد مطالعه انجام شد. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۵)، ۱۵۵ هیبرید و ۵ شاهد را بر اساس کلیه صفات مورد بررسی به چهار گروه هتروتیک تفکیک کرد. طبق نتایج تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها از نظر همه صفات وجود داشت (جدول ۷). گروه اول شامل‌هیبریدهایی با میانگین بالای یکنواختی جوانه‌زنی، عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص بود. دو شاهد نوودورا و لوریکت در این گروه جای گرفتند. گروه دوم متشکل از ۲۴ هیبرید بود که از نظر یکنواختی رشد و درصد قند ناخالص در رتبه اول و از نظر سایر صفات در رتبه دوم قرار داشتند. از ۱۵۵ هیبرید تحت مطالعه، ۲۵ هیبرید گروه سوم را تشکیل دادند. این گروه برای سه صفت یکنواختی جوانه‌زنی، یکنواختی رشد، عملکرد ریشه و عمکلرد قند ناخالص دارای میانگین حداقل و برای درصد قند ناخالص دارای میانگین متوسط بود. ۴۴ هیبرید و سه شاهد سینا، پیرولا و مودکس در گروه چهارم جای گرفتند و از لحاظ تمامی صفاتی که ارزیابی شدند، رتبه سوم را به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری کلی

حوزه کشاورزی برایتأمین نیاز تغذیه‌ای جمعیت روزافزون با چالش کاهش زمین‌های قابل کشت مواجه است. اصلاح نباتات با افزایش تولید در واحد سطح به موفقیت‌هایی دست یافته است. با این حال، به دلیل باریک شدن پایه ژنتیکی ارقام کشت‌شده در بسیاری از محصولات، آسیب‌پذیری ژنتیکی اتفاق افتاده است. از این رو، نیاز به تغییر در نمونه‌های ژنتیکی با تمرکز بر منابع ژنتیکی متنوع وجود دارد. تنوع ژنتیکی در حال حاضر به‌عنوان یک حوزه خاص که می‌تواند در امنیت غذایی و تغذیه‌ای کمک کند، پذیرفته شده است. تنوع ژنتیکی گیاهان زراعی پایه و اساس توسعه پایدار است. بنابراین نیاز به شناسایی منابع ژنتیکی متنوع با استفاده از ابزارهای آماری مختلف و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی وجود دارد. در مطالعه حاضر به بررسی تنوع ژنتیکی از نظر صفات مختلف میان هیبریدهای چغندرقند با بکارگیری روش‌های آماری پرداخته شد. نتایج نشان داد که بین هیبریدهای آزمایشی تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای از نظر اکثریت صفات حاکم است که مؤیدتغییرات ژنتیکی گسترده در هیبریدهای اصلاحی است و پایه پدری این تنوع غنی را در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه فراهم کرده است؛ به‌طوری که هیبریدهای آزمایشی در چهار گروه هتروتیک از نظر کلیه صفات جای گرفتند.

جدول ۵- نتایج تجزیه علیت در هیبریدهای چغندرقند

Table 5. Results of path analysis in sugar beet hybrids

صفت Trait	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم Indirect effect			ضریب همبستگی با عملکرد قند Correlation coefficient with sugar yield
		عملکرد ریشه Root yield	درصد قند ناخالص Sugar content	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	
عملکرد ریشه Root yield	1.011	-	-0.057	-0.0040	0.95**
درصد قند ناخالص Sugar content	0.321	-0.182	-	0.0005	0.14ns
یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	-0.004	0.860	-0.035	-	0.82**
باقی‌مانده Residual			-0.002		

*، ** و ns: معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار.

ns, *, **: non-significant,significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- نتایج تجزیه به عامل ها در هیبریدهای چغندرقند

Table 6. Results of factor analysis in sugar beet hybrids

صفات Traits	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor
یکنواختی جوانه زنی Germination uniformity	0.923	-0.115
عملکرد ریشه Root yield	0.966	-0.172
عملکرد قند ناخالص Sugar yield	0.967	0.105
یکنواختی رشد Growth uniformity	0.250	0.774
درصد قند ناخالص Sugar content	-0.026	0.863
مقادیر ویژه Eigen value	2.787	1.399
واریانس نسبی (درصد) Proportion variance (percent)	55.74	27.99
واریانس تجمعی (درصد) Cumulative variance (percent)	55.74	83.73

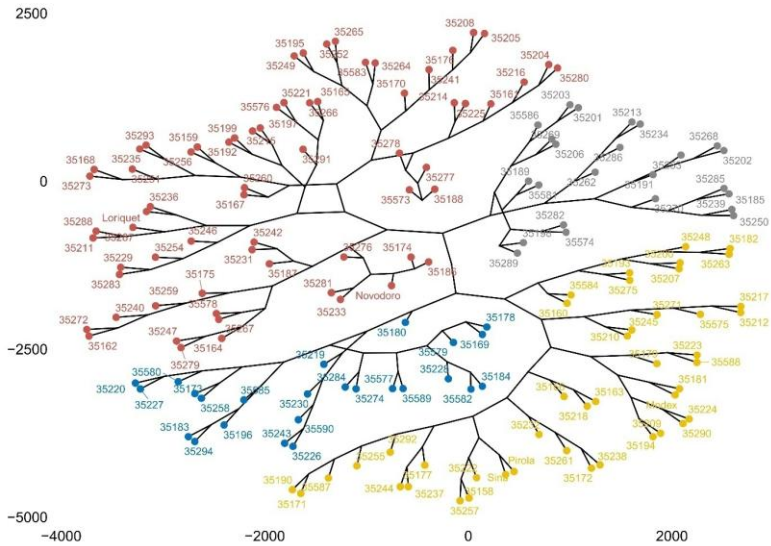
جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین گروه های حاصل از تجزیه خوشه ای بر اساس صفات مورد مطالعه در هیبریدهای چغندرقند

Table 7. Mean comparison results of the groups obtained from cluster analysis based on the studied traits in sugar beet hybrids

گروه Group	صفات Traits				
	یکنواختی جوانه زنی Germination uniformity	یکنواختی رشد Growth uniformity	عملکرد ریشه Root yield	درصد قند ناخالص Sugar content	عملکرد قند ناخالص Sugar yield
میانگین گروه اول First group mean	4.99 a	4.64 b	81.78 a	16.97 bc	13.89 a
میانگین گروه دوم Second group mean	4.71 ab	5.53 a	74.08 ab	18.49 a	13.46 a
میانگین گروه سوم Third group mean	3.01 c	4.75 b	47.09 c	17.67 b	8.29 c
میانگین گروه چهارم Fourth group mean	4.02 b	4.67 b	60.07 b	16.75 c	9.99 b
میانگین کل Total mean	4.37	4.80	69.23	17.25	11.88

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی داری بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار ندارند.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different based on the least significant difference test.



شکل ۵- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روشوارد بر اساس صفات تحت مطالعه در هیبریدهای آزمایشی چغندرقند (گروه اول: قرمز، گروه دوم: مشکی، گروه سوم: آبی و گروه چهارم: زرد)

Figure 5. Dendrogram obtained from cluster analysis of sugar beet hybrids based on the studied traits using Ward method (First group: red, second group: black, third group: blue and fourth group: yellow)

References

All ard, R. 1960. Principles of Plant Breeding. Publishers by John Wiley and Sons. *Inc New York*:485.

Anonymous. 1999. Agribusiness Handbooks, Sugar Beets/ White Sugar, vol 4.

Biancardi, E., McGrath, J.M., Panella, L.W., Lewellen, R.T., and Stevanato, P. 2010. Sugar beet. In: Root and tuber crops. Springer, pp 173-219.

Burton, G.W., and Devane, D.E. 1953. Estimating heritability in tall fescue (*Festucaarundinacea*) from replicated clonal material 1. *Agronomy Journal*, 45(10), 478-481.

Comstock, R., and Robinson, H. 1952. Genetic parameters, their estimation and significance. In: Proceedings of the 6th international Grassland congress. pp 248-291.

Dohm, J.C., Minoche, A.E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F., Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T.R., Stracke, R., Reinhardt, R., Goesmann, A., Kraft, T., Schulz, B., Stadler, P.F., Schmidt, T., Gabaldón, T., Lehrach, H., Weisshaar, B., and Himmelbauer, H. 2014. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, 505(7484), 546-549. doi:10.1038/nature12817

Falconer, D.S. 1996. Introduction to quantitative genetics. Pearson Education India.

Crops production and area harvested. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Fotouhi, K., Majidi, E., Rajabi, A., and Azizinejad, R. 2017. Study of genetic variation for drought tolerance in sugar beet half-sib families. *Journal of Sugar Beet*, 33(1),16-11.

Gratani, L. 2014. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances in botany*, 2014(1), 1-17.

Hoogendijk, M., and Williams, D.E. 2002. Characterizing the genetic diversity of home garden crops: some examples from the Americas. *Home gardens and in situ conservation of plant genetic resourcesin farming systems*, 34(1), 1-10.

Huang, L., Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, X., Xie, W., Jiang, X., Peng, F., Yan,

Y., Ma, X., and Liu, W. 2014. Genetic stability and DNA fingerprinting of the Hemarthria compressa cultivar "Guangyi". *Biochemical Systematics and Ecology*, 55(1), 310-316.

Hughes, A.R., Inouye, B.D., Johnson, M.T., Underwood, N., and Vellend, M. 2008. Ecological consequences of genetic diversity. *Ecology letters*, 11(6), 609-623.

Johnson, H.W., Robinson, H., and Comstock, R. 1955. Estimates of genetic and environmentalvariability in soybeans 1. *Agronomy journal*, 47(7), 314-318.

Kiani, J.K., Bihamta, M., Habibi, D., Aaghsrzadeh, A., and Saremirad, A. 2020. Effect of mycorrhizal fungus application on some biochemical characters of wheat cultivars in lead contaminated soil. *Journal of Water and Soil*, 34(2), 393-408.

Kunz, M., Martin, D., and Puke, H. 2002. Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zuckerindustrie*, 127(1), 13-21.

Liang, S., Rong, X., Sai, L., Chen, J., Changqing, X., Caixiang, X., and Tongning, L. 2015. Phenotypic variation of seed traits of Haloxylon ammodendron and its affecting factors. *Biochemical Systematics and Ecology*, 60(1), 81-87.

Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J., and Romeiras, M.M. 2018. Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, 9:74-85.

Moosavi, S.G.R., Ramazani, S.H.R., Hemayati, S.S., and Gholizade, H. 2017. Effect of drought stress on root yield andsome morpho-physiological traits in different genotypes of sugar beet (*Beta Vulgaris* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3), 167-174.

Nasri, R., Kashani, A., Paknejad, F., Sadeghi Shoae, M., and Ghorbani, S. 2012. Correlation and path analysis of qualitative and quantitative yield in sugar beet in transplant and direct cultivation method in saline lands. *Agronomy and Plant Breeding*, 8(1), 213-226.

Podgornik, M., Vuk, I., Vrhovnik, I., and Mavsar, D.B. 2010. A survey and morphological evaluationof fig (*Ficus carica* L.) genetic resources from

Slovenia. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 380-389.

Price, T.D., Qvarnström, A., and Irwin, D.E. 2003. The role of phenotypic plasticity in driving genetic evolution. *Proceedings of the Royal Society of LondonSeries B: Biological Sciences*, 270(1523), 1433-1440.

Ribeiro, I.C., Pinheiro, C., Ribeiro, C.M., Veloso, M.M., Simoes-Costa, M.C., Evaristo, I., Paulo, O.S., and Ricardo, C.P. 2016. Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. *Frontiers in plant science*, 7(1), 1293.

Saremirad, A., Bihamta, M., Malihipour, A., Mostafai, K., and Alipour, H. 2021a. Association mapping of bread wheat genotypes resistance to stem rust. Islamic Azad University of Karaj Branch, Alborz, Karaj, Iran.

Saremirad, A., Bihamta, M.R., Malihipour, A., Mostafavi, K., and Alipour, H. 2020. Evaluation of resistance of some Iranian spring bread wheat cultivars to stem rust disease at seedling stage. *Seedand Plant Journal*, 36(4),383-401. doi:10.22092/sppi.2021.123891.

Saremirad, A., Mostafai, K., and Hosseini, M.S. 2021b. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in sunflower genotypes (*Hellianthusannuus* L.). *Plant Production Technology*, 12(2),1-18.

Saremirad, A., and Mostafavi, K. 2020. Genetic diversity study of sunflower (*Helianthusannus* L.) genotypes for agro-morphological traits under normal and drought stress conditions. *Plant Productions*, 43(2),227-240. doi:10.22055/ppd.2020.27588.1671

Saremirad, A., Taleb, M.H., Omrani, S., and Mostafavi, K. 2018. Genetic variation study for agro-morphological traits in safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). 14(3),23-32.

Singh, A., and Chaudhary, R. 1996. Dithizone and thiosemicarbazide as inhibitors of corrosion of type 304 stainless steel in 1· 0M sulphuric acid solution. *British Corrosion Journal*, 31(4),300-304.

Singh, S., and Pawar, I.S. 2005. Theory and application of biometrical genetics. CBS Publishers & Distributors.

Sun, Y., Liang, J., Ye, J., and Zhu, W. 1999. Cultivation of super-high yielding rice plants. *China Rice*, 5:38-39.

Thomas, H., Ougham, H.J., Wagstaff, C., and Stead, A.D. 2003. Defining senescence and death. *Journal of Experimental Botany*, 54(385),1127-1132.

Via, S., Gomulkiewicz, R., De Jong, G., Scheiner, S.M., Schlichting, C.D., and Van Tienderen, P.H. 1995. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Trends in Ecology &Evolution*, 10(5),212-217.

Via, S., and Lande, R. 1987. Evolution of genetic variability in aspatially heterogeneous environment: effects of genotype–environment interaction. *Genetics Research*, 49(2),147-156.

Wang, B., Zhang, J., Yang, X., and Jiang, Z. 2009. Relationship of seed characters and seedling growth traits of Haloxylon ammodendron fromdifferent provenances with geographical and climatic factors. *Journal of Plant Resources and Environment*, 18(1),28-35.

Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E.A., Vos, J., and Spiertz, H.J. 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of botany*, 91(3),361-371.

Evaluation of genetic diversity in sugar beet (*Sugarbeet* L.) hybrids in terms of yield and morpho-physiological traits

Ali Saremirad[1*], Farhnaz Hamdi[2] , Dariush Taleghani[3]

1. Plant breeding Ph. D. Department of Agronomy and Plant Breeding, Young Researchers and Elite Club, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. . (Corresponding author)
2. Researcher of Sugar Beet Seed Institute (SBSI) - Agricultural Research Education and ExtensionOrganization (AREEO), Karaj,Iran.
3. Associate Professor ofSugar Beet Seed Institute (SBSI)- Agricultural Research Education and ExtensionOrganization (AREEO), Karaj,Iran.

Received: December 2021 Accepted: September 2023- DOI: 10.22092/aj.2023.357194.1580

Extended Abstract

Saremirad, A., Hamdi, F., Taleghani, D., Evaluation of genetic diversity in sugar beet (***Beta vulgaris*** L.) hybrids in terms of yield and morpho-physiological traits
Applied Research in Field Crops Vol 35, No. 3, 2022 10-13: 67-87(in Persian)

Introduction:

Breeders have implemented various breeding programs to improve the potential performance and developmental process of high-yielding sugar beet cultivars (Taleghani *et al*., 2022).The study of phenotypic diversity is highly recommended as a first step before conducting in-depth biochemical or molecular studies. Hence, morphological description is the most important issue in the process of studying and preserving plant genetic diversity(Saremirad & Mostafavi, 2020). The use of different traits to study phenotypic diversity reveals the genetic structure and degree of diversity of the study population, which forms the basis of genetic breeding(Rajabi *et al*., 2022). In breeding programs, with the aim of improving the crop and increasing productivity, recognizing the genetic diversity associated with important agronomic traits and also determining the relationship between them is of particular importance.

Email address of the corresponding author: Asaremirad@gmail.com

Materials &Methods:

In this regard, 155 sugar beet hybrids were planted in five incomplete blocks at Khoy Agricultural Research Station during 2020 in the augmented randomized complete block design with five controls including Sina, Novodoro, Modex, Lorquite and Pirula. Germination uniformity and growth uniformity were recorded during the growing season. The experimental harvesting operation was performed by counting and weighing the roots in the experimental plots. The roots were then transferred to the sugar technology laboratory of Khoy Agricultural Research Station to be washed and prepared for a random sampling of pulp. To estimate sugar yield, the first the root yield of each hybrid was generalized per ton per hectare and by multiplying the percentage of sugar and root yield, the sugar yield was obtained. Phenotypic, genetic and environmental variances, phenotypic, genetic and environmental variation coefficients, general heritability and genetic advance were calculated. After calculating Pearson correlation coefficients between the studied traits, stepwise regression analysis was performed for sugar yield characteristics. Then, according to the traits entered in the regression equation, path analysis for sugar yield was performed. The experimental genotypes were grouped based on the Ward method and the optimal number of clusters was determined based on k means.

Results &Discussion:

The results of analysis of variance of the studied traits indicated that there was a significant genetic diversity among the experimental hybrids in terms of germination uniformity, root yield, sugar content and sugar yield. In all studied traits, due to the influence of environmental factors on them, the phenotypic diversity coefficient was estimated to be higher than the genetic diversity coefficient. Four traits of germination uniformity, root yield, sugar yield and sugar content showed high inheritance. Among the different studied traits, sugar yield and root yield had a positive and a very significant correlation at the probability level of 0.1%. The results of stepwise regression analysis confirmed that the three traits of root yield, sugar content and germination uniformity accounted for more than 99% change in

sugar yield. The results of path analysis confirmed the results of correlation analysis and stepwise regression and showed that the most direct and positive effect is related to the root yield. Based on cluster analysis, the experimental hybrids were classified into four distinct groups; So that in the first group was hybrids that had high uniformity in germination and good yield in terms of roots and sugar.

Conclusion:

Genetic diversity is now accepted as a special field that can contribute to food security and nutrition. Genetic diversity of crops is the basis of sustainable development. Therefore, there is a need to identify diverse genetic resources using various statistical tools and employ them in breeding programs. In the present study, genetic diversity in terms of different traits among sugar beet hybrids was investigated using statistical methods. The results showed that there was considerable genetic diversity among the experimental hybrids in terms of the majority of traits, which confirms the extensive genetic variation in breeding hybrids, providing the paternal basis of this rich diversity in the studied germplasm.The experimental hybrids were divided into four heterotic groups for all traits. Given the diversity of traits and experimental hybrids, hybrids with desirable traits can be selected based on breeding goals and used in future breeding programs to achieve the goals.

Keywords: Cluster analysis, Correlation, Phenotypic diversity, Regression.

References:

Taleghani, D., Rajabi, A., Sadeghzadeh Hemayati, S., and Saremirad, A. 2022. Improvement and selection for drought-tolerant sugar beet (*Beta vulgaris* L.) pollinator lines. *Results in Engineering*, 13, 100367.doi:10.1016/j.rineng.2022.100367

Saremirad, A., and Mostafavi, K. 2020. Genetic diversity study of sunflower (*Helianthusannus* L.) genotypes for agro-morphological traits under normal and drought stress conditions. *Plant Productions*, 43(2),227-240. doi:10.22055/ppd.2020.27588.1671

Rajabi A., Ahmadi M., Bazrafshan M., Hassani M., and Saremirad A. 2022.

Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes in rhizomania-infected conditions. *Food Science & Nutrition,*11**:** 1403-1414.doi:10.1002/fsn3.3180